

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование влияния лесного пожара на элементы деревянного строения

УДК 519.876:630.43:694.1/.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Мязина Софья Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Барановский Н.В.	к.ф-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	А	к.т.н.		

Томск – 2021 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач.
P3	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
Профессиональные компетенции	
P7	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности в широком (в том числе междисциплинарном) контексте в комплексной инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач комплексного инженерного анализа с использованием базовых и специальных знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять комплексные инженерные проекты с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить комплексные научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с

	применением базовых и специальных знаний, и современных методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
Специальные профессиональные	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений научного сообщества в рассматриваемой области. Математическое моделирование теплопереноса в деревянном строении сельской местности, находящейся в высокотемпературной среде, с учетом структурной неоднородности. Обсуждение результатов исследования. Формулировка выводов и заключения.
Перечень графического материала	Презентация

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Клемашева Е.И.
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Барановский Н.В.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Мязина Софья Андреевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 98 с., 21 рис., 27 табл., 86 источников.

Ключевые слова: лесные пожары, математическое моделирование, деревянное строение, поражающий фактор лесного пожара, пиролиз.

Объектом исследования являются элементы деревянного строения в сельской местности.

Цель работы – расчет влияния лесного пожара на элементы деревянного строения в сельской местности для оценки экологических последствий лесных пожаров и их прогнозирования.

В процессе исследования проводился расчет параметров процесса тепломассопереноса в неоднородном по структуре деревянном строении.

В результате исследования были получены распределения температуры в слоях деревянного строения в сельской местности при воздействии конвективного теплового потока от фронта лесного пожара, что позволяет оценить степень термического повреждения и прогнозировать экологические последствия лесных пожаров.

Основные технологические характеристики: программная реализация математических моделей разработана с помощью среды MatLab.

Степень внедрения: результаты внедрены в учебный процесс.

Область применения: полученные результаты могут быть применены при создании информационно-вычислительных систем геомониторинга лесных массивов.

Экономическая значимость работы заключается в том, что результаты проектирования могут быть использованы для усовершенствования уже существующих, а так же для создания новых систем прогноза пожарной опасности, применение которых поможет снизить ущерб лесных пожаров.

В будущем планируется осуществить интеграцию разработанных математических моделей в системы геоэкологического мониторинга.

Обозначения и сокращения

ЛГМ – лесные горючие материалы;

МКР – метод конечных разностей.

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1. Современное состояние области исследования	12
1.1 Типы и характеристика лесных пожаров.....	12
1.2 Типы и характеристика лесных горючих материалов (ЛГМ)	18
1.3 Сушка лесных горючих материалов	19
1.4 Пиролиз древесины и лесных горючих материалов	21
1.5 Зажигание лесных горючих материалов	23
1.6 Характеристика территорий WUI	26
1.7 Воздействие лесных пожаров на населенные пункты и промышленные объекты	27
1.8 Технологии ГИС в прогнозе лесных пожаров и их последствий	29
1.9 Выводы по результатам аналитического обзора литературы	33
Глава 2. Методы исследования.....	34
2.1 Объект исследования	34
2.2 Алгоритм решения задач теплопроводности	35
Глава 3. Результаты исследования	41
3.1 Физическая модель теплопереноса в слоистой структуре деревянного строения в сельской местности при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	41
3.2 Одномерная постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре деревянного строения в сельской местности при воздействии излучения от фронта лесного пожара	42
3.2.1 Геометрия области решения	42
3.2.2 Математическая модель теплопереноса в слоистой структуре деревянного строения в сельской местности при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	43
3.2.3 Основные закономерности теплопереноса в слоистой структуре деревянного строения в сельской местности при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	44

3.3 Двумерная постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре деревянного строения в сельской местности при воздействии излучения от фронта лесного пожара	53
3.3.1 Геометрия области решения	53
3.3.2 Математическая модель теплопереноса в слоистой структуре деревянного строения в сельской местности при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	54
3.3.3 Основные закономерности теплопереноса в слоистой структуре деревянного строения в сельской местности при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	54
Глава 4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	60
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	60
4.2 Анализ конкурентных технических решений	61
4.3 SWOT – анализ	63
4.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	64
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	64
4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования	65
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	69
4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	69
4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	70
4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	70
4.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	72
4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	73
4.5.6 Накладные расходы	73
4.5.7 Формирование затрат на проектирование	74
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	74
4.3.1 Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности	74

Выводы по разделу.....	77
Глава 5. Социальная ответственность	81
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	81
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	81
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	83
5.2 Производственная безопасность	84
5.3 Экологическая безопасность.....	87
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
Выводы по разделу.....	89
Заключение	90
Список использованных источников	91

Введение

Пожары – одна из наиболее значимых угроз для лесов и их биологического разнообразия.

Согласно данным Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, в 2020 году арктическими пожарами было выброшено в атмосферу рекордное количество углекислого газа — 244 млн тонн. Это число на треть превышает показатель 2019 года [1].

Согласно сводке ФБУ «Авиалесоохрана» в период с 1 января по 8 декабря 2020 года общая территория лесных угодий России, пройденная огнём, достигла 9,3 млн гектаров [1].

Информация и статистика о лесных пожарах, особенно о низовых, включая влияние огня на почвенные слои, в организациях, занимающихся составлением статистики представлена с большими пробелами. Для определения очагов пожаров и их последствий необходим более полный мониторинг с использованием современных систем поиска и отслеживания очагов пожаров. Некоторая информация о лесных пожарах скрывается различными организациями в корыстных целях.

Поэтому для более полного и точного изучения влияния очага пожара на деревянные строения в сельской местности мы используем математическое моделирование и разрабатываем расчетную модель данного опыта.

Глава 1. Современное состояние области исследования

1.1 Типы и характеристика лесных пожаров

Леса являются природным возобновляемым ресурсом и могут удовлетворять потребности общества при условии их многократного, рационального, непрерывного и устойчивого использования. Лесные пожары являются естественным компонентом лесных экосистем и не могут быть полностью ликвидированы. Однако в последние десятилетия наметилась тенденция превращения лесных пожаров из природного регулирующего фактора в катастрофическое явление, наносящее значительный экономический, экологический и социальный ущерб. Крайне важно понять взаимосвязь между основными экологическими факторами и пространственным поведением лесного пожара, чтобы разработать эффективные планы борьбы с лесными пожарами [2].

Ученые обычно выделяют три типа лесных (или диких) пожаров [3, 4]:



Верховые пожары. В приподнятом пологе горит коронный огонь. Помимо редко встречающегося "независимого" коронного огня, коронные огни подразделяются на активные и пассивные. Активный пожар кроны включает в себя сплошную стену пламени от уровня земли до верхней части кроны и охватывает множество деревьев, горящих в массовом порядке. Пассивный пожар кроны включает в себя только одно или небольшое количество деревьев, с твердым пламенем, не постоянно поддерживаемым в кроне.



Рисунок 1 – Верховой пожар [5]

Устойчивые верховые пожары. Предложенный тип пожара имеет следующие характеристики: температура горения 1000 °С, скорость распространения около 1,5 км/ч. Устойчивый верховой пожар распространяется при небольшом ветре. Передвигается одновременно с низовым пожаром сплошной стеной. Пламя низового пожара, передвигаясь наклонно, подогревает верхушки деревьев. Верхушки деревьев нагреваются до высоких температур, а после может быть достаточно искры, чтобы они начали гореть [6].

Температура беглого верхового пожара характеризуется 900 °С и вытянутой формой. Распространяется при сильном ветре по кронам деревьев верхних ярусов и после себя оставляет только обугленные стволы. Иногда пламя верхового пожара обгоняет территорию низового пожара [7]. Движение пламени – скачкообразное, а скорость скачка – 20 км/ч, но порой достигает больших значений. При распространении огня по наклонной поверхности или в условиях ветра, пламя наклоняется вперед и приближается к несгоревшей лесной подстилке. Результирующий поток лучистого тепла, который падает на подстилку, увеличивается. [8] Из такого пожара с помощью ветра небольшие угли или частицы легко поднимаются и могут путешествовать на большие расстояния. Однако они могут выгореть или иметь низкую температуру при приземлении и, следовательно, с

меньшей вероятностью могут вызвать возгорание. Для сравнения, крупные угли или частицы могут иметь длительное время горения, но их труднее транспортировать, и поэтому они не перемещаются далеко от фронта пожара. Угли или частицы промежуточного размера имеют относительно долгое время горения и могут быть подняты на значительные расстояния [9]. Именно они и разлетаются на большие расстояния. В следствие чего, образуются новые очаги, которые наращивают скорость распространения пожара.

Верховые пожары считаются производными от низовых пожаров, которые в последующем становятся составной его частью. Формированию верховых пожаров способствуют сухая погода, ветер, захламленность лесов и пр. [10].

Низовые пожары. Поверхностный огонь сжигает топливо, которое находится над землей, но под навесом. Топливо состоит из хвои, листьев, травы, поваленной древесины, кустарников и низкорослых деревьев.



Рисунок 2 – Низовой пожар [5]

Проведем краткую характеристику низовых пожаров. Низовой устойчивый пожар характеризуется температурой 800 °С, маленькой скоростью передвижения (несколько десятков м/ч) и овальной формой. Огромный ущерб получают растения с поверхностной корневой системой.

Низовой беглый пожар имеет температуру 400-500°C, скорость распространения 0,5 км/ч, порой быстрее, несут наименьший ущерб. В период весны наиболее благоприятные условия для данного типа пожаров, так как подсыхает самый верхний слой мелких лесных горючих материалов. Огонь в короткий срок сжигает то, что способно гореть, потом двигается дальше.



Рисунок 3 – Почвенный (торфяной) пожар [11]

Почвенные пожары. Этот тип огня горит в органических почвах, корнях, гнилых погребенных бревнах и т.д. Данный пожар характерен светлым дымом, расстилающимся над поверхностью почвы. Иногда из почвы могут прорываться языки пламени. Возгорание торфа может происходить самостоятельно, из-за жизнедеятельности микроорганизмов, которые входят в его состав [12]. Тушение таких пожаров вызывает сложности, потому что поверхность торфяных залежей обладает водоотталкивающими свойствами из-за высокого содержания смол. Для тушения 1 м² торфяника необходима 1 тонна воды. Так же могут гореть и зимой, вплоть до начала весеннего половодья. Торф полностью выгорает, вплоть до минерального слоя. Подземные пожары очень опасны, они имеют высокую температуру около 1000 °C. Определить площадь такого пожара очень сложно.

Относительно других пожаров, почвенные (торфяные) имеют небольшую скорость, они проходят расстояние от нескольких дециметров до нескольких метров за сутки [13].



Рисунок 4 – Огненный вихрь [14]

Огненный смерч. Особый вид устойчивых и чрезвычайно разрушительных пожаров, характеризуется наличием продуктов сгорания, притоком воздуха, а так же возникновением восходящего столба нагретого воздуха [15].

Возникновение огненного торнадо были зафиксированы во время Московского пожара в 1812 г., Великого лондонского пожара, Канберре 2003 г. и многие другие случаи.

В период с 18 по 22 января 2003 года лесные пожары в Канберре нанесли серьезный ущерб пригородам и внешним районам столицы Австралии. После недельного горения 18 января пожары проникли в пригороды Канберры. В течение следующих десяти часов погибли четыре человека, более 490 получили ранения, а 470 домов были разрушены или серьезно повреждены, что потребовало значительных усилий по оказанию чрезвычайной помощи и восстановлению. [16]

В [17] были проведены исследования оптических и физических характеристик смерча, где с помощью двигателя с лопатками проводилась закрутка пламени внешним воздушным потоком. Максимальная температура, полученная в ходе исследования, достигла 800-1100 К.




Классификация лесных пожаров по категориям сложности тушения и площади поражения огнём [18]:

1. Начинающийся пожар ($S = 1,5$ га);
2. Малый пожар ($S = 1,5-3,0$ га);
3. Средний пожар ($S = 3,0-25,0$ га);
4. Крупный пожар ($S = 25,0-200,0$ га);
5. Особо крупный пожар ($S =$ более 200 га).

1.2 Типы и характеристика лесных горючих веществ (ЛГМ)

Лесные горючие материалы классифицируются следующим образом:

Таблица 1 – Типы и характеристика лесных горючих веществ [19, 20]

Лесные горючие вещества		Характеристика
Почвенный горючий материал		
	Торф	<p>Торф разделяют по различному составу растений. Также, на тип торфа может влиять состав минеральной почвы и коренной породы, под торфяником и на почве, прилегающей к торфянику [55].</p> <p>На степень температуры влияют химические характеристики</p> <p>Физические свойства меняются в зависимости от типа торфа и состояния окружающей среды.</p> <p>Удельная масса составляет около $1,48-2,25 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$</p> <p>Объемная плотность составляет $0,07-0,62 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$</p> <p>Общая пористость 74,2 - 95,3%.</p> <p>Зольность 2,2 - 72,6%</p>
Напочвенный горючий материал		
	Опад, напочвенный покров, мелкие кустарнички	<p>Кустарнички и травы характерны для непокрытых лесом территорий.</p> <p>Чаще расположены на территориях после пожаров и вырубок [56].</p> <p>С течением времени опад превращается в подстилку, а подстилка – это верхний слой почвы, который состоит из отмерших частей растений.</p>
Горючий материал в кронах хвойного молодняка		
	Подрост сосны, кедра	<p>Сосна обыкновенная имеет плотные, жесткие хвоинки изогнутой формы. На ветках они живут до 3 лет, но при хороших условиях могут и до 8 лет.</p> <p>Хвоя хорошо воспламеняется, потому что в ней накапливается большое количество эфирных масел и смолы, которые являются хорошим горючим.</p>

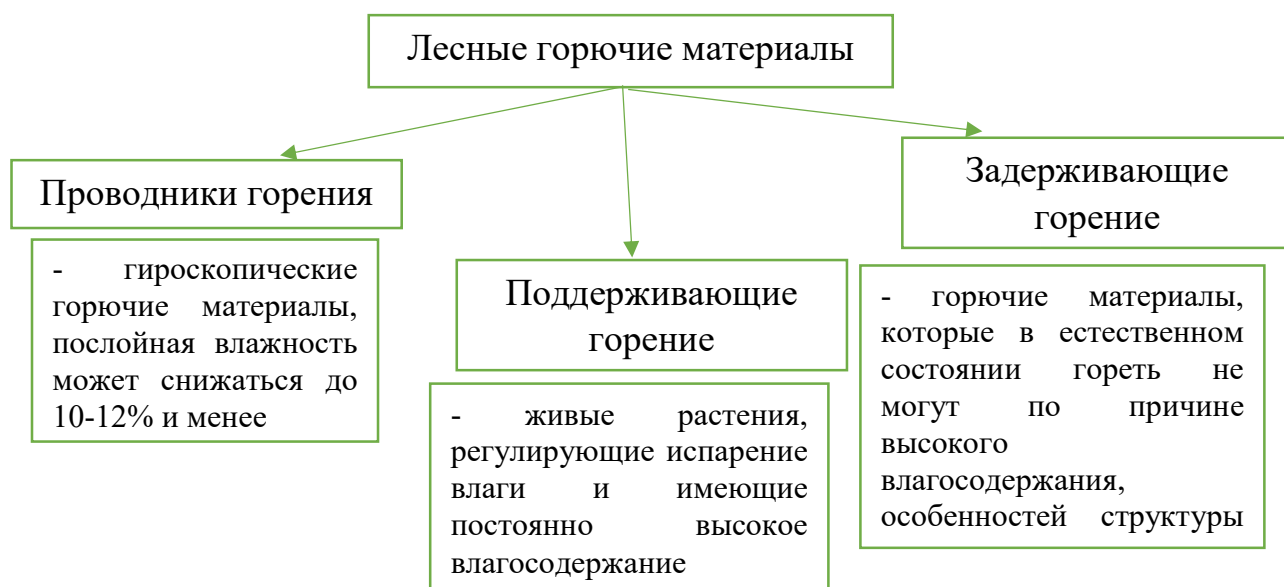
Все сведения о запасах лесного горючего материала наносятся на карты растительных горючих материалов [21,22,23]. С их помощью можно оценивать класс пожарной опасности данного биогеоценоза и прогнозировать лесные пожары [24].

1.3 Сушка лесных горючих материалов

Для создания систем прогнозирования лесных пожаров необходимо изучить процесс сушки лесных горючих материалов. Сушка – один из методов снижения влажности древесины, осуществляется при помощи подвода нагретого воздуха к древесине. Данный метод наиболее экономичный и популярный способ. Как правило, древесная биомасса неоднородна по размеру и имеет высокую влажность. Сухое древесное топливо более удобно в использовании из-за относительной простоты хранения, а также из-за преимущества с точки зрения эффективности сжигания [25].

Высыхание ЛГМ считается наиболее важным и менее изученным этапом процесса горения в природных условиях. Однако много исследований было посвящено повышению ценности лесной биомассы путем снижения содержания влаги [26].

Классификация лесных горючих материалов [27]



Пиломатериалы – основной вид продукции лесопильных заводов, который подвергают сушке. Для измерения характеристик сушки необходимо непрерывно контролировать вес, а так же определять высыхание путем расчета потери массы до и после сушки. В зависимости от свойств материала время процесса сушки может варьироваться. Процесс испарения влаги воздухом может происходить без искусственного подогрева, когда используется теплота относительно нагретого солнцем наружного воздуха.

При помощи подвода теплоты к материалу (продуктов сгорания, воздуха от калориферов, или электронагревом), получаемой в результате сжигания топлива, применения электроэнергии от тепловых или гидравлических станций и т.п., осуществляют комбинированную сушку [28].

Процесс включает в себя следующие этапы:

1. пиломатериалы укладываются рядами;
2. далее по зазорам продувается нагретый воздух. Продувка происходит во влажной среде, чтобы пиломатериал не растрескался.

В математическом моделировании лесных пожаров сушку ЛГМ можно описать соотношением [29]:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{AmSM}{\sqrt{2\pi MRT}} p_0 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right),$$

где m – масса, S – площадь поверхности, M – молекулярная масса воды, A – коэффициент аккомодации, E_2 – эффективная теплота испарения, – парциальное давление воды во внешней среде, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура в предположении, что при высоких температурах, сопровождающих фронт лесного пожара, давление насыщенного пара

$$p_n = p_0 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) \gg p_c,$$

где p_c – парциальное давление влаги.

Сушка древесной биомассы приведет к получению более эффективного материала, поскольку более сухой материал будет ближе по свойствам к материалу с теоретической высокой теплотворной способностью древесной биомассы. Потеря веса, измеренная в биомассе, принимается равной потере воды.

1.4 Пиролиз древесины и лесных горючих материалов

Для борьбы с лесными, сельскими и городскими пожарами важно понимать поведение древесины [30]. Во время пожара древесина подвергается пиролизу, который является термохимической реакцией, превращающей древесину в уголь, конденсирующиеся жидкости (смолу) и газы. Во время пожаров растения теряют влагу из-за испарения и подвергаются двухстадийному процессу термического разложения (пиролиз и сжигание) при воздействии высоких температур [31,32]. Пиролиз – это физико-химический процесс термического разложения, не требующий присутствия кислорода, является эффективным методом утилизации древесных отходов. Позднее продукты пиролиза могут реагировать с O_2 и образовывать пламя в присутствии источника возгорания при высоких температурах [33,34,35].

При помощи очень сложных механизмов теплообмена растения сжигаются, а так же подвергаются пиролизу во время лесного пожара [36]. Два наиболее доминирующих типа механизмов теплопередачи при лесных пожарах – радиационные и конвективные. Тепло от сгорания продуктов пиролиза передается на окружающие ЛГМ, запуская процессы испарения и пиролиза для этих растений. Этот процесс повторяется непрерывно и распространяет огонь [37].

При проведении обзора литературы было предложено несколько определений для смолы. Смола как любой продукт пиролиза, который конденсируется при комнатной температуре и давлении., а также смесь

конденсируемых углеводородных соединений, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и кислородсодержащие углеводороды [38].

Во время процесса потери массы ЛГМ происходит разложение на гемицеллюлозу, целлюлозу и лигнин [39]. Во время пиролиза растений из лигнина образуются три единицы лигнина (то есть ванилин, гваякол и катехол). Затем звенья лигнина пиролизуются или реагируют с водородом с образованием первичных гудронов, которые включают ароматические соединения с 1 кольцом, такие как бензол и фенол [40].

Первичные реакции пиролиза завершаются при температуре около 500°C. При более высоких температурах пиролиза и скоростях нагрева ПАУ с более низким молекулярным весом (первичные продукты пиролиза) подвергаются вторичным реакциям и образуют более тяжелые ПАУ, такие как нафталин, антрацен и пирен, которые известны как вторичные и третичные гудроны [41].

Описать процесс пиролиза ЛГМ можно системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dm_{i0}}{dt} = -k_1 m_{i0} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), t = 0, m_{i0} = m_{iH}, \\ \frac{dm_{ic}}{dt} = a_c m_{i0} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), t = 0, m_{ic} = 1, \end{cases}$$

где a_c – отношение молекулярных масс и стехиометрических коэффициентов конденсированного продукта пиролиза и исходного вещества; m_{i0} – текущая масса сухого органического вещества в элементе ЛГМ; k_1 , E_1 – предэкспоненциальный множитель и энергия активации пиролиза; m_{ic} – текущая масса кокса, получающегося при пиролизе ЛГМ; m_{iH} – текущая масса сухого органического вещества в элементе ЛГМ в начальный момент времени.

Данные уравнения действительны лишь в том случае, когда время процесса переноса в ЛНМ меньше времени пиролиза.

Модель пиролиза привлекла значительное внимание ученых в сфере лесных пожаров, однако редко используется за пределами научного сообщества.

1.5 Зажигание лесных горючих материалов

Очень редко можно наблюдать самовозгорание лесных пожаров, потому что это требует очень высокой интенсивности. Наиболее распространенное зажигание в лесных пожарах, когда горючие материалы нагреваются излучающими и/или конвективными источниками тепла, а так же присутствуют источники возгорания. Зажигание происходит при более низкой температуре, чем самовозгорание. Этот чрезвычайно сложный процесс зависит от нескольких факторов, в том числе: размера и состояния уголька (тлеющего/тлеюще–горящего), характеристик топливного слоя, на который приземляется уголь (температура, плотность, пористость, содержание влаги) и условий окружающей среды (температура, влажность, скорость ветра).

Могут возникнуть три типа механизмов зажигания [42]:

- 1) тлеющее зажигание;
- 2) пилотируемое зажигание в газовой фазе, вызванное раскаленной частицей;
- 3) Длительное тление с последующим самопроизвольным переходом в пламя.

Основные причины лесных пожаров зависят от местности, но обычно им способствуют:

- молнии;
- поджоги;
- неосторожное использование тепла или огня.

Последнее включает в себя сигареты, спички, костры, технику, неконтролируемое сжигание сельскохозяйственных культур и плохо выполненные предписанные правила по соблюдению пожарной безопасности. ЛГМ могут загораться и в результате наземного грозового разряда [43].

Рассмотрим основные результаты исследования зажигания лесных горючих материалов.

Котойори [44] провел адиабатические эксперименты по самонагреву печи на 15 различных видах древесных опилок и обнаружил отчетливые видовые различия, как показано в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние древесных пород на самонагревание древесины [45]

Вид	$T_0, ^\circ\text{C}^*$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\alpha, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$E, \text{кДж/моль}$
Дзельква	118	279	$2,3 \cdot 10^{-7}$	99
Телалинг	119	214	$2,5 \cdot 10^{-7}$	114
Западный красный кедр	124	153	$2,7 \cdot 10^{-7}$	104
Кедр Савара	125	173	$2,7 \cdot 10^{-7}$	104
Дугласова пихта	127	197	$2,3 \cdot 10^{-7}$	103
Шорея	130	185	$2,5 \cdot 10^{-7}$	133
Порт Орфорд кедр	131	138	$2,8 \cdot 10^{-7}$	116
Японский кедр	132	145	$3,0 \cdot 10^{-7}$	116
Палуловния Японская	133	173	$2,8 \cdot 10^{-7}$	109
Красная сосна	133	253	$2,2 \cdot 10^{-7}$	137
Эли Аянская	135	138	$2,7 \cdot 10^{-7}$	120
Аляскинский желтый кедр	136	138	$2,8 \cdot 10^{-7}$	134
Японский Кипарис	138	131	$2,7 \cdot 10^{-7}$	147
Западный болиголов	141	131	$2,8 \cdot 10^{-7}$	137
Ель ситхинская	142	131	$2,8 \cdot 10^{-7}$	142
* критическая температура окружающей среды для плиты толщиной 0,61 м				

Существенная разница между наименее безопасными и наиболее безопасными видами, и эта разница объясняется не только плотностью или E , но включает также эффект QA , значения которого не были сведены автором в таблицу.

Известно, что опилки и древесные щепки склонны к самонагреванию. Экспериментальная свая высотой 7 м достигла самовозгорания через 9 месяцев [46]. Однако стандартные рекомендации по максимальному безопасному хранению высоты штабелей древесной стружки [47] колеблются от 8 до 18 м, в зависимости от типа древесины. Самонагревание в древесной щепе происходит за счет прямого дыхания живых клеток, микробного действия и роста грибов, а также прямого химического окисления ненасыщенных жирных кислот и других органических компонентов. Грибковый рост, как правило, наблюдается только после длительного хранения на открытом воздухе. Был собран ряд историй самонагревающейся древесной пыли и щепы [48]. Сообщается, что 30-метровая куча опилок дугласовой ели, скорее всего, "загорится через несколько месяцев". "Три сваи высотой около 19 м загорелись в Швеции после дождливой погоды; предположительно, дождь способствовал росту микробов [49]. Детальная история болезни самонагревающегося пожара, произошедшего в куче древесной щепы объемом 250 000 м³, была сообщена [50]. Причина была связана с необычно высокой долей смолы и присутствием какого-то очень мелкого материала. Первый был идентифицирован как фактор, который имеет тенденцию снижать температуру воспламенения древесины. Вклад мелкодисперсных частиц был обусловлен тем, что они образовывали покрывающий слой вблизи внешней стороны кучи, тем самым уменьшая доступность конвективного охлаждения.

Верно ли это, неясно, так как если конвективное охлаждение нарушается, то и поток кислорода к центру будет таким же, а уменьшение притока кислорода служит уменьшению, а не увеличению, тенденции к самонагреванию. Было также заявлено, несколько более обобщенно, что кучи, содержащие материал различных размеров, легче самонагреваются, чем кучи только грубого или только тонкого материала, но причина этого не приводится. Дождь способствует самонагреванию в кучах древесной щепы, как и бродячий металл, благодаря каталитическому действию железа [47,51]. Опилки из

выдержанных пиломатериалов менее склонны к саморазогреву, чем опилки из зеленых древесин [52]; это, по-видимому, связано с более высоким уровнем микроорганизмов в свежесрубленной древесине.

Качественное исследование показало, что цельная древесная щепа имеет гораздо более выраженную тенденцию к саморазогреву, чем окоренная щепа. Для самонагрева был установлен следующий рейтинг: окоренная щепа < цельная древесная щепа < кора < листва.

1.6 Характеристика территорий WUI

Лесные пожары – чрезвычайно сложные и разрушительные явления, поведение которых зависит от состояния растительности, метеорологических условий и рельефа местности. Наиболее важной деятельностью является разработка надежных и точных моделей поведения пожара, потому что экспериментальные исследования дорогостоящие и очень сложные. Существуют различные типы моделей лесных пожаров: статистические, эмпирические, полуэмпирические и физические.

В [53] рассмотрена схема низового пожара. Предложенная математическая модель, описывает процессы распространения низового пожара, которые впоследствии соответствуют экспериментальным данным. С помощью полученных результатов можно оценить скорость распространения пожара, а также ширину противопожарных полос, зависящую от скорости ветра, количества влаги и ЛГМ.

Согласно обзору Morvan (2011), одна из наиболее совершенных физических многофазных моделей пожара – трехмерная (3D) модель WFDS (Wildland Fire Dynamics Simulator).

Процесс распространения лесных пожаров был проанализирован Гришиным (1997) и Перминовым (2013) с использованием упрощенной двумерной (2D) многофазной модели. Уравнения трехмерной (3D) модели были интегрированы этими исследователями по высоте полога леса. Динамическая турбулентная вязкость определялась с использованием упрощенной модели

локального равновесия турбулентности (Гришин, 1997), а кинетика Аррениуса применялась как для гетерогенных реакций, так и для газообразного горения [54].

Существует физическая многофазная трехмерная модель поведения при пожаре в диких землях, которая была включена в коммерческое программное обеспечение CFD. Многофазная CFD-модель инициирования и распространения лесных пожаров была разработана и включена в многоцелевое программное обеспечение CFD PHOENICS.

Модель учитывает физические и физико-химические процессы: сушку, пиролиз, сжигание полукокса, турбулентное сгорание газообразных продуктов пиролиза, обмен массой, импульсом и энергией между газом и твердой фазой, турбулентный поток газа и конвективное, проводящее и излучательное тепло. Турбулентность моделируется с использованием модели RNG $k-\varepsilon$, а радиационный теплообмен достигается с помощью модели IMMERSOL (Spalding, 1995, Spalding, 2013).

1.7 Воздействие лесных пожаров на населенные пункты и промышленные объекты

Пожар в сельской или городской местности – это низкочастотное, с высокими последствиями событие, связанное с последовательным возникновением пожаров в жилых домах, особенно в сельской местности, где дома расположены на небольшом расстоянии друг от друга [55].

В [56] рассматривается уязвимость к возгоранию соломенной кровли. Конструкции, оснащенные соломенными кровельными узлами, подвержены возгоранию во время больших наружных пожаров. Эксперименты с соломенными кровельными узлами проводились с использованием уменьшенного генератора головней непрерывного действия в ветроустановке для исследования фундаментальных механизмов воспламенения. Скорость

ветра варьировалась от 3 м/с до 6 м/с, чтобы наблюдать за воспламенением и распространением пламени кровельных агрегатов. Было замечено, что головни проникали в соломенный кровельный узел, иногда невидимые снаружи, что приводило к возгоранию и в конечном счете быстрому проникновению пламени. Информация, полученная в ходе этого исследования, была бы полезна для оценки и разработки эффективных контрмер по защите исторических сооружений с соломенными кровлями, особенно для исторических зданий, таких как объекты всемирного наследия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) [56].

Первоначально потребовалось больше времени, чтобы поджечь макет кровельного узла с помощью раскаленных головней, по сравнению с зажиганием от пылающей деревянной кроватки. Это естественно из-за различных начальных состояний горения, так как кроватка находится в состоянии пылающего горения. Однако важный механизм проникновения пламени в глубину кровельного узла был совершенно иным. Из-за непрекращающегося ливня огненных головней из генератора огненных головней множество светящихся головней проникло в водоросли. Эти пылающие головни накапливались, и пламенное воспламенение было впервые замечено на поверхности, поскольку непрерывный поток воздуха приводил к тому, что тлеющее воспламенение переходило в пламенное воспламенение. После того, как пламенное воспламенение было достигнуто за счет скопления головней на поверхности, воспламенение очень быстро проникло в другие узлы сборки, а также в места многократной пайки уже внутри сборки. Различия в проникновении пламени были значительно различны; на порядок только 200 мм в течение 1 мин для сценария пылающего душа огненной головни против 400 мм в течение 22 мин для сценария воспламенения кроватки [56].

Экспериментальные результаты дают достаточно полное описание распространения огня между домами. Такие данные, как правило, имеются только по фактическим пожарам, которые случаются нечасто. Полученные результаты должны послужить технической основой для обобщения

характеристик городских пожаров и оценки прогнозных моделей в будущем; однако, поскольку существует несколько факторов, влияющих на распространение огня, таких как тепловое излучение, конвекция продуваемыми ветром огненными шлейфами, пятнистость головней и горение самого модельного дома, нет установленного сходства между масштабированием огнепреградителей и выделением взрывоопасных предметов. Поэтому результаты экспериментов здесь не могут быть непосредственно масштабированы до полномасштабной реализации, например, ширина улицы 10,8 м в полном масштабе не обязательно гарантирует безопасное разделение домов для предотвращения распространения огня, хотя такого явления в наших настоящих экспериментах не было. Тем не менее, результаты полезны для анализа причин пожара, например, того, как пламя образовалось на крыше после того, как крыша прогорела, как это было проанализировано в настоящем докладе, или при проверке вычислительных моделей путем корректировки масштаба модели для эксперимента [55].

1.8 Технологии ГИС в прогнозе лесных пожаров и их последствий

Одно из самых перспективных направлений в области изучения и прогнозирования лесных пожаров – компьютерное моделирование [57]. Технология географических интегрированных систем (ГИС) необходима для выявления и мониторинга очагов возгорания. Она разработана так, чтобы пространственная информация сохранялась и эффективно извлекалась. Дополнительная ценность использования ГИС-технологий в управлении пожарами событиями напрямую связана прибылью, ожидаемой от использования таких технологий. Такая система облегчает процесс поиска очагов, что приводит к сохранению природных ресурсов, следовательно, происходит экономия средств.

Инциденты с лесными пожарами могут поставить под угрозу жизнь людей и нанести непоправимый ущерб районам, имеющим важное значение для окружающей среды. ГИС-технологии могут стать жизненно важным технологическим ядром для разработки интегрированной операционной

системы в случае кризисного управления лесными пожарами. Подобная система поможет в проведении процедур подготовки пожарных частей для предотвращения пожара и фактического управления ресурсами во время тушения пожаров. Органы власти могут определить наиболее эффективный способ размещения пожарных подразделений в наиболее уязвимых местах.

Мониторинг и своевременное тушение пожаров возможно при своевременной оценке и эффективном прогнозировании показателей пожарной опасности и вероятности возникновения пожаров. Появление компьютерного, дистанционного зондирования и ГИС-технологий позволяет разработать компьютерное решение модели распространения лесных пожаров [58].

При поддержке географической информационной системы и технологии дистанционного зондирования был достигнут существенный прогресс в теоретическом и эмпирическом моделировании поведения лесных пожаров. Дистанционное зондирование функционирует с использованием сенсоров на борту искусственных спутников земли. Такие методы зондирования лесов могут эффективно использоваться при решении ряда задач, связанных с картированием, классификацией лесных покровов, однако получение спутниковых данных дистанционного зондирования ограничено облачной и дождливой погодой [59].

Основными задачами моделирования распространения лесных пожаров являются:

- предсказание тенденции распространения лесных пожаров на необходимой территории;
- ручная установка начальной площади возгорания при помощи модели в соответствии с изображениями поля пожара, полученными с авиации и спутников;
- оказание поддержки пожарным подразделениям в создании зон изоляции лесных пожаров;
- расчёт пути эвакуации людей во время пожара;
- уменьшение затрат сил и средств на тушение;

- прогноз экологических последствий пожаров.

Отдел пожарной охраны может установить разумную зону изоляции для управления огнем в пределах допустимого диапазона. Для реализации вышеуказанных функций модель должна включать в себя метод получения информации о горючих материалах, модель скорости распространения лесных пожаров.

ГИС обладают возможностью интегрировать информацию из различных источников, к примеру, оцифрованные карты, чертежи, данные аэрофотосъемки и космической съемки. Однако, ГИС не является инструментом принятия решений, а лишь удобное для пользователя приложение, которое помогает повысить эффективность принятия решений. Для анализа, мониторинга обстановки и моделирования чрезвычайных ситуаций используется карта области применения ГИС мониторинга лесных пожаров. Использование стандартных инструментов позволяет определить расстояние от пламени до ближайшего места, время тушения, а также средства пожаротушения, эвакуационные пункты, возможные силы и средства привлечения [60].

Создание карты пожарной опасности состоит из трех этапов технологии:

1. Предварительная обработка – осуществляется на базе программного комплекса станции приема информации со спутников.
2. Программные расчеты – индикатор радиометрической пожарной опасности рассчитывается на основе данных дистанционного зондирования со спутника.
3. Полученный результат обрабатывается с использованием геоинформационных технологий. Данные выводятся в различных формах, таких как карты, таблицы, изображения, блок-схемы. Так же, можно создавать формы отчета в виде электронных таблиц Excel.

Оперативные данные по ГИС изменяются с частотой одного или нескольких раз в день. К примеру, информация о погоде, данные о новых и активных лесных пожарах, а также о расположении сил и средств для ликвидации лесных пожаров.

Применение ГИС-технологий давно показало свою эффективность для прогнозирования лесных пожаров. С помощью ГИС повысилась оперативность реагирования на лесные пожары. В следствии чего, такой продукт на рынке является перспективным в продвижении.

1.9 Выводы по результатам аналитического обзора литературы

Проведя анализ обзора аналитической литературы можно сделать несколько выводов:

1) Каждый год в весенний и летний период наша страна борется с огромной бедой – большие площади охватывают пожары. Лесные пожары достигают сельские местности, что приводит к таким последствиям как: гибель людей; причинение вреда здоровью; уничтожение жилья; ухудшение качества питьевой воды; загрязнение атмосферы; потери плодородности почвы; гибель животных.

2) В нашей стране лесные пожары классифицируют по разным признакам: по количеству охватываемой территории, по уровням сложности и по способу распространения пламени.

3) Процесс сушки является важным этапом в решении проблемы лесных пожаров. Воспламенение ЛГМ напрямую зависит от влагосодержания. Данную взаимосвязь можно использовать для оценивания пожарной опасности.

4) За последние 10 лет было создано большое количество математических моделей лесных пожаров. Математическое моделирование – перспективное направление в области прогнозирования лесных пожаров, которое не требует проведения мероприятия в отличие от экспериментальных исследований. Большая часть исследований базируется на послепожарном периоде.

5) В последнее время для прогнозирования пожаров используется большое количество научных разработок. К примеру, ГИС-технологии, которые оказались успешными в применении.

6) Пожары несут за собой огромный ущерб не только для экономики, но и для экосистемы. Происходит разрушение экосистемы и уменьшение разнообразия видов растений.

Глава 2. Методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является элемент деревянного строения в сельской местности. Стена деревянного строения представляет собой двухслойную модель – древесину и внешнее покрытие. Предметом исследования можно обозначить теплоперенос в двухслойной структуре деревянного строения под воздействием теплового потока от фронта различных видов пожара.

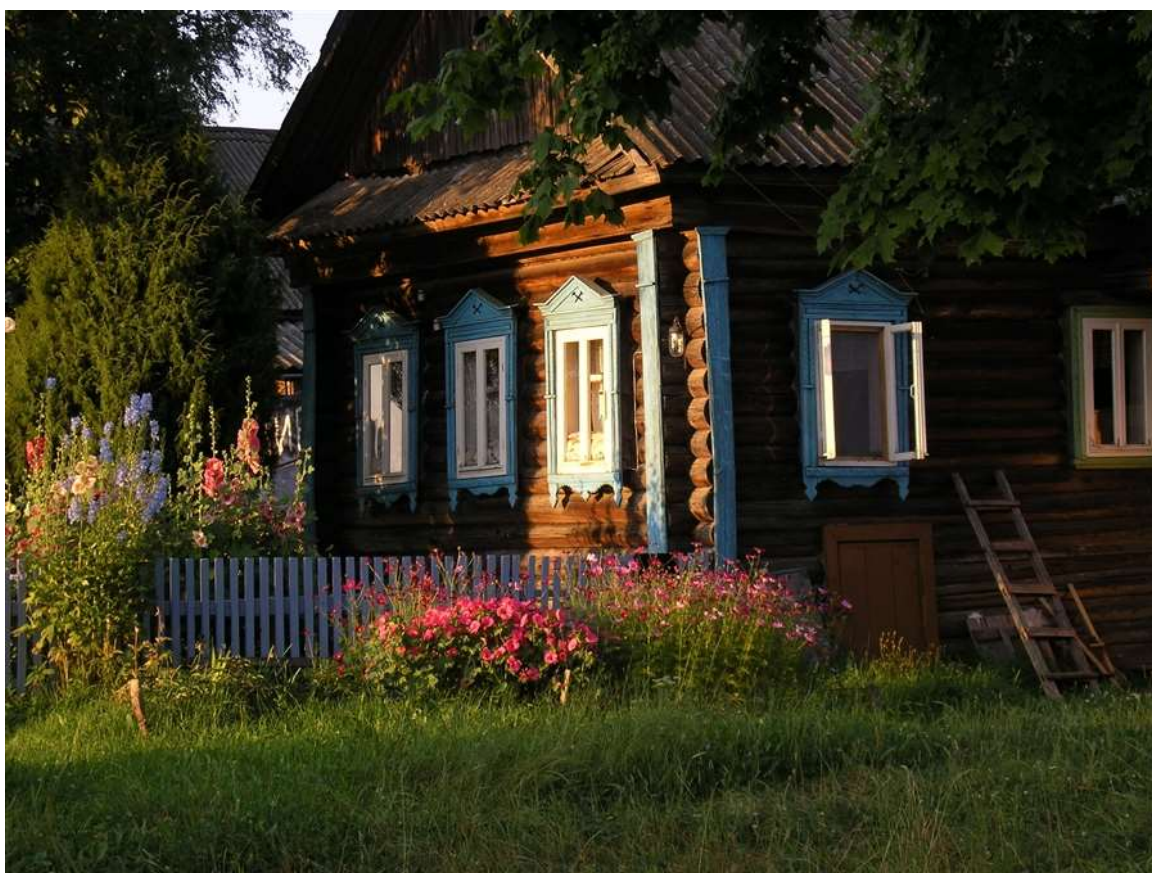


Рисунок 5 – Объект исследования «деревянное строение в сельской местности»[61]

Ежегодно от лесных пожаров страдает большое количество как отдельных жилых зданий, так и целых населенных пунктов, особенно в местах, где здания интегрированы в лес [62]. Для этих регионов существенной опасностью является риск лесного пожара, который может быть вызван как природными, так и техногенными факторами [63,64].

Классифиция лесной земли[65]:

1. Районы дикой природы, недоступные для человека; риск возникновения пожара по техногенным причинам минимален. Мониторинг состояния лесных насаждений может быть применен в целях борьбы с лесными пожарами. Такие меры могут помочь управлять лесными пожароопасными ситуациями и снизить частоту появления пожаров в будущем.

2. Основные направления лесопользования, включая более доступные участки леса, а также участки с товарной древесиной.

3. Жилые районы – участки, где границы домов соприкасаются с границами леса. Как правило, контроль за лесными насаждениями направлен на защиту мест массовых поселений и инфраструктуры.

Вторую и третью зоны можно далее условно разделить на три группы снижения риска [66]:

- Отдельные квартиры и прилегающая территория.
- Границы между населенными пунктами и дикой растительностью.
- Дикая растительность между населенными пунктами.

2.2 Алгоритм решения задач теплопроводности

Задачи многомерного типа принято решать, основываясь на локальной одномерной схеме А.А. Самарского. В предложенном методе шаг по времени реализуется в несколько этапов. На промежуточном шаге по времени многомерное уравнение теплопередачи дискретизируется в направлении одной из осей. После этого получаем одномерное уравнение. После решения одномерного уравнения проводится дискретизация данного уравнения по направлению другой оси и одномерное уравнение решается повторно. Количество этапов зависит от координат, которые рассматриваются в данной задаче. К примеру, двумерная задача решается в два этапа. Решив уравнения по

направлениям осей, на целом временном шаге определяется поле температур [67].

Математическое моделирование в данной системе производится на основе метода конечных разностей (МКР).

Нестационарный перенос тепла можно описать уравнением Фурье-Кирхгофа:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_w(x, y, z, t, T).$$

Для решения задачи необходимо задать физические, геометрические и начальные и граничные условия. Геометрические условия – размеры тела и его форма. Физические условия – теплоемкость, теплопроводность и плотность. Начальные условия – распределение температуры в начальный момент времени. Граничные условия – особенности протекания процесса на поверхности тела.

В данной работе уравнение задается в прямоугольной системе координат и тогда уравнение теплопроводности будет иметь вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + Q_w(x, t, T).$$

Далее строим конечно разностную сетку:

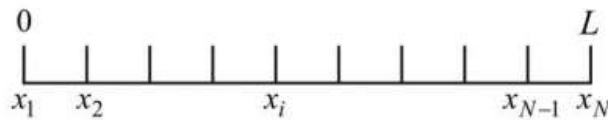


Рисунок 6 – Конечно-разностная сетка

После определяем значение температуры в i -ом узле в момент времени $t = t_n = n \cdot \tau$, где τ – шаг интегрирования.

Произведём замену дифференциальных операторов на их конечно-разностные аналоги. В результате получим СЛАУ:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}, i=2, \dots, N-1, n \geq 0 [67].$$

Данную схему аппроксимации можно представить графически:

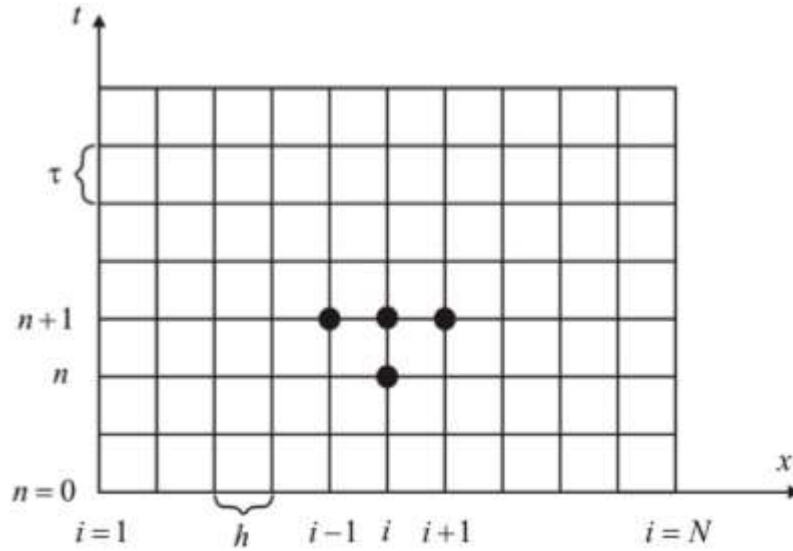


Рисунок 7 – Шаблон четырехточечной схемы [67]

Используя неявную схему, берем одну точку со старого временного слоя и три на новом временном слое. Температура представлена неявно. На рис. 3 графически изображена неявная четырехточечная схема.

Полученную систему сводим к общему виду (трехточечное разностное уравнение второго порядка):

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot T_{i-1}^{n+1} = F_i,$$

$$\text{где } A_i = C_i = \frac{\lambda}{h^2}, B_i = \frac{2\lambda}{h^2} + \frac{\rho \cdot c}{\tau}, F_i = -\frac{\rho \cdot c}{\tau} T_i^n.$$

После преобразования уравнения, получаем:

$$T_i^{n+1} = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} T_{i+1}^{n+1} + \frac{C_i \cdot B_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}},$$

из данного уравнения можно найти прогоночные коэффициенты:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}, \beta_i = \frac{C_i \cdot B_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}.$$

Прогонка будет являться корректной, если знаменатели не обращаются в ноль. В последнем узле определяется значение температуры. После этого методом обратной прогонки находим распределение температур.



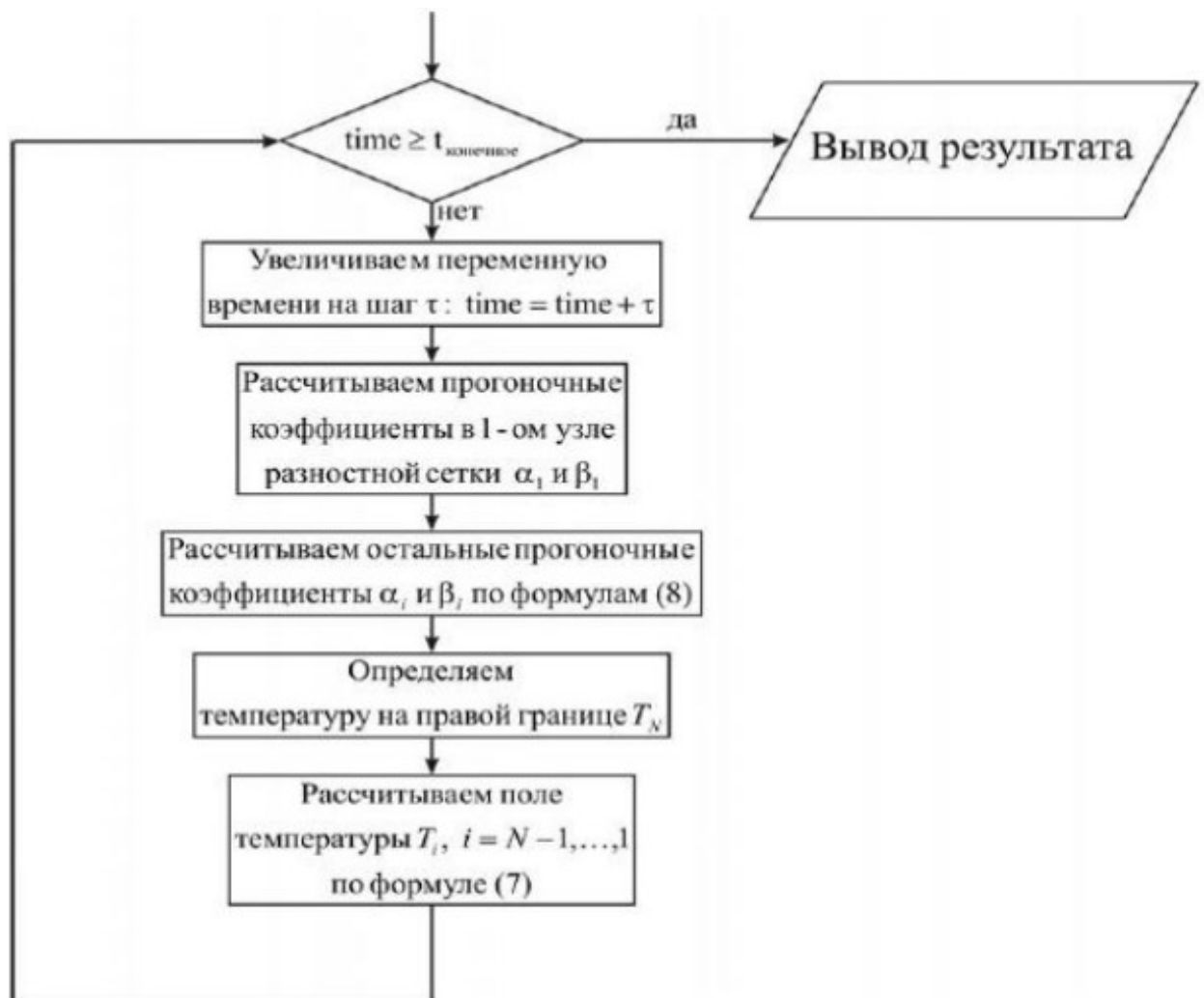


Рисунок 8 – Блок-схема

Численное решение задачи данной работы будет реализоваться на языке MatLab.

Для двумерной задачи математическая постановка будет иметь вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad \left| \begin{array}{l} 0 < x < L; \\ 0 < y < H. \end{array} \right.$$

Дальнейшее решение сводится к решению МКР описанному выше.

Так как, лесные пожары сопровождаются химическими реакциями, логично рассмотреть задачу теплопроводности с химической реакцией в материале. Уравнение теплопереноса в пластине, подверженной термическому разложению имеет вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q_{\text{хим}} k_0 \rho \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), 0 < x < L;$$

$$T = 0: T = T_0, 0 \ll x \ll L;$$

$$x = 0: -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = k(T^e - T), t > 0;$$

$$x = L: \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = k(T^e - T), t > 0;$$

где $q_{\text{хим}}$ – тепловой эффект химической реакции, k_0 – предэкспонент химической реакции, E – энергия активации химической реакции, $R = 8,31$ Дж/(моль · К) – универсальная газовая постоянная.

Дальнейшее решение сводится к методу конечных разностей, описанному выше.

Так как деревянное строение имеет несколько слоев, необходимо также рассмотреть постановку задачи двухслойной пластины. Математически задача будет иметь вид:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, 0 < x < x^*;$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, 0 < x < x^*;$$

Решение данной задачи проводится также численно на основе неявной разностной схемы. Граничное условие IV рода используется для определения прогоночных коэффициентов в точке x^* .

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Мязина Софья Андреевна

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Полная стоимость проекта руб., из них материальные затраты 751,73 руб., амортизация 5746,34 руб., заработная плата работников 174325,3 руб., продолжительность выполнения работы 133 дня, электропотребление 78,8 кВт·ч
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	16% накладные расходы 30% районный коэффициент 40-50% норма амортизации
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ	- Анализ конкурентных технических решений; - SWOT-анализ; - Описание потенциальных потребителей;
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- Планирование работ; - Разработка графика Ганта; - Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Многоугольник конкурентоспособности
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Мязина Софья Андреевна		

Глава 4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Введение

Целью данного раздела является экономическое обоснование технического решения научно-исследовательской работы (НИР), которое состоит в соотношении затрат на осуществление технического решения и получаемого эффекта. В экономической части разрабатывают основные вопросы организации производства, его важнейшие технико-экономические показатели, выполняют расчеты по определению себестоимости продукции, экономической эффективности производства.

В данной работе рассматривается математическое моделирование влияния лесного пожара на элементы деревянного строения. Для математического моделирования использовалась среда программирования MatLab.

Для достижения поставленной цели сформулировали задачи:

1. Определение этапов работы;
2. Определение продолжительности этапов работы;
3. Расчет затрат необходимых для НИР;
4. Расчет рентабельности проекта;
5. Оценка научно-технической результативности НИР.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Математическое моделирование лесных пожаров – перспективный способ, применяющийся для прогнозирования лесных пожаров. Прогноз лесной пожарной опасности является очень актуальной проблемой. Для прогнозирования лесных пожаров создаются различные системы на основе математического моделирования, к примеру, ГИС. Система охраны природных территорий от пожаров в России сложна и запутана. За участки разной ведомственной подчиненности, относящиеся к разным типам земель, находящиеся в разных формах собственности отвечают разные структуры:

1) За выработку государственной политики и общую координацию действий государственных органов в области пожарной безопасности отвечает МЧС.

2) За охрану земель лесного фонда от пожаров и за тушение лесных пожаров на землях лесного фонда отвечают органы управления лесами (Рослесхоз в Московской области, региональные органы управления лесами - в остальных регионах).

3) За охрану лесов на землях обороны и безопасности и за тушение пожаров в них отвечает Минобороны РФ, за охрану лесов на землях особо охраняемых природных территорий федерального значения и тушение пожаров в них отвечает Минприроды РФ.

4) За осуществление мер пожарной безопасности на других природных территориях отвечают собственники земельных участков. Все перечисленные выше структуры и являются основными потребителями систем прогнозирования лесных пожаров на основе математического моделирования.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Для успешного внедрения научной разработки необходимо изучить преимущества и недостатки конкурирующих методов исследования воспламенения ветви кустарника в высокотемпературной среде для прогнозирования верховых пожаров. В данном случае нет смысла сравнивать предприятия-конкуренты, т.к. проект является научной работой. Сравнение будет производиться между тремя методами, с помощью которых можно получить данные по воспламенению ветви кустарника в высокотемпературной среде. В проекте используется метод математического моделирования, его конкурентами являются экспериментальные исследования и комбинированный метод.

Конкуренты:

- ЭИ – Экспериментальные исследования – получение данных по воспламенению ветви путем проведения опытов;

- КМ – Комбинированный метод – получение данных путем совмещения опытных результатов и результатов математического моделирования;

- ММ – Математическое моделирование – получение данных по воспламенению ветви кустарника в программной среде MatLab;

Список критериев и их вес из таблицы 14 подбирался и оценивался совместно с экспертом (научным руководителем).

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных методов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ЭИ	КМ	ММ	$K_{ЭИ}$	$K_{КМ}$	$K_{ММ}$
1. Экологичность	0,1	1	2	5	0,1	0,2	0,5
2. Трудоемкость метода	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
3. Скорость выполнения исследования	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
4. Общая стоимость метода	0,2	3	2	4	0,6	0,4	0,8
5. Точность измерений	0,2	4	5	3	0,8	1,0	0,6
6. Безопасность инженера во время выполнения работы	0,2	3	3	5	0,6	0,6	1,0
7. Доступность метода	0,1	3	2	5	0,3	0,2	0,5
Итого	1				3,2	3,0	4,4

В таблице 14 представлены основные конкуренты и критерии оценки конкурентоспособности. Каждый показатель конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей определяются в соответствии с их значимостью и в сумме составляют 1. По таблице видим, что экспериментальные исследования и комбинированный метод имеют примерно одинаковое количество баллов. По баллам математическое моделирование превосходит своих конкурентов, это говорит о том, что данный метод может конкурировать с существующими методами в поставленных для него задачах. На рисунке 21 наглядно представлены преимущества и недостатки предложенного и существующих методов исследования влияния лесного пожара на деревянное строение в сельской местности.

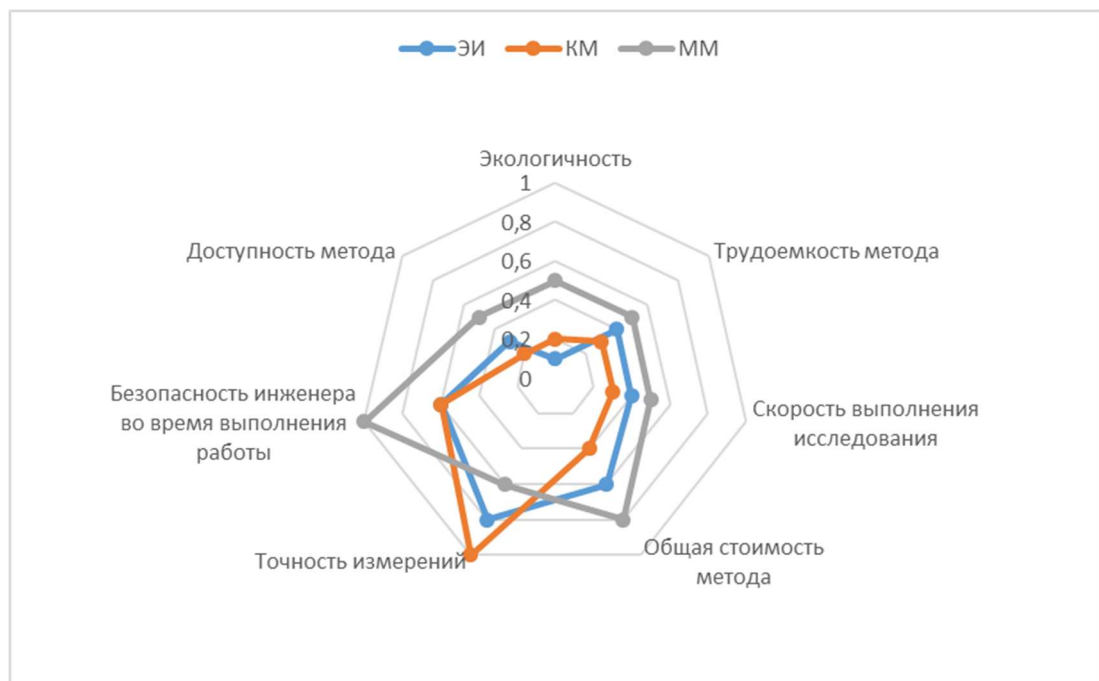


Рисунок 21 – Многоугольник конкурентоспособности

Рисунок показывает, что математическое моделирование проигрывает в точности измерения обоим методам, но имеет преимущество по таким показателям, как безопасность инженера во время выполнения работы, экологичность, скорость выполнения исследования, имеет минимальную трудоемкость.

4.3 SWOT – анализ

SWOT анализ – это метод оценки ситуации и будущих перспектив проекта, основная задача которого: определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. На основании анализа делаются вывод: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта.

Оценочная карта составлялась на основе выявления сильных и слабых сторон метода математического моделирования перед комбинированным методом и экспериментальным методом. Данные основывались на прочитанной научной литературе и мнении эксперта в данной области (руководитель проекта).

Таблица 15 – Матрица SWOT проекта

	<p>Сильные стороны: С1. Бесплатное программное обеспечение для математического моделирования; С2. Экологичность метода; С3. Более низкая стоимость по сравнению с другими методами; С4. Возможность моделирования пожара до его возникновения.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Результаты исследования не были ранее опубликованы и оценены научным сообществом; Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки; Сл3. Риск возникновения погрешности; Сл4. Отсутствие инжиниринговой компании, способной осуществить разработку модели.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В2. Увеличение спроса на новый продукт; В3. Модернизация методов моделирования; В4. Рост стоимости оборудования и, следовательно, рост цены ошибки без применения моделирования.</p>	<p>В1В2С1. В короткие сроки с минимальными затратами создание качественной математической модели; В3В4С3. Увеличение эффективности предварительного моделирования; В2С2. Внедрение метода в работу систем не будет проблематичным, так как он является экологичным.</p>	<p>Сл3В1. При возникновении риска погрешностей можно использовать инновационную инфраструктуру ТПУ, которая поможет свести погрешности к минимуму. Сл1В3. Перевод внимания с математического моделирования на другие методы.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые природоохранные технологии; У2. Введение дополнительных требований к программному обеспечению; У3. Удешевление других методов; У4. Увеличение стоимости программного обеспечения.</p>	<p>У4У3С3. При увеличении стоимости программного обеспечения произойдет и увеличение стоимости всего математического моделирования, что может повлиять на конкурентоспособность.</p>	<p>Сл4У1. При отсутствии достаточной базы знаний у людей, которые могут осуществить инвестирование проекта из-за новизны разработки, служит весомым фактором в неосознанности актуальности данной проблемы. Проект может быть заморожен из-за недостающей финансовой составляющей.</p>

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках исследования;

- определение участников работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения исследований;

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов работ при проектировании

№	Содержание работ	Исполнитель
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
2	Выбор темы и направления моделирования	Руководитель, инженер
3	Теоретические исследования, проведение обзора литературы	Инженер
4	Составление плана проведения занятий и выбора метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования	Руководитель, инженер
5	Написание программы в среде MatLab	Инженер
6	Проведение исследования	Инженер
7	Обработка результатов	Инженер
8	Обобщение и оценка результатов исследований, написание выводов	Руководитель, инженер
9	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	Инженер
10	Проверка проекта	Руководитель

4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

В 2020 году 366 календарных дней. При пятидневной рабочей неделе с двумя выходными днями будет 248 рабочих дней и 118 выходных/нерабочих праздничных дней.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по разрабатываемому проекту представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,48;$$

$$T_{\text{к1}} = T_{\text{р1}} \cdot k_{\text{кал}}.$$

где $T_{\text{р1}}$ – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{\text{ки}}$ необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведем в таблицу 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Содержание работ/ затрачиваемый промежуток времени для участника в % соотношении	T_{pi}	T_{ki}	Начало	Конец	Кол-во календарных дней, затрачиваемых на работу каждым участником проекта
1	Составление ТЗ (Руководитель – 100%)	1	2	0	2	Руководитель – 2 дня
2	Выбор темы и направления проведения эксперимента (Руководитель – 50%, инженер – 50%)	2	3	2	5	Руководитель – 1,5 дня Инженер – 1,5 дня
3	Теоретические исследования, проведение обзора литературы (Инженер – 100%)	14	21	5	26	Инженер – 21 день
4	Составление плана проведения занятий и выбора метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования (Руководитель – 50%, инженер – 50%)	1	2	26	28	Руководитель – 1 день Инженер – 1 день
5	Написание программы в среде MatLab (Инженер – 100%)	10	15	28	43	Инженер – 15 дней
6	Проведение исследования (Инженер – 100%)	10	15	43	58	Инженер – 15 дней
7	Обработка результатов (Инженер – 100%)	8	12	58	70	Инженер – 12 дней
8	Обобщение и оценка результатов исследований, написание выводов	10	15	70	85	Руководитель – 3 дня Инженер – 12 дней

	(Руководитель – 20%, инженер – 80%)					
9	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки (Инженер – 100%)	30	45	85	130	Инженер – 45 дней
10	Проверка проекта (Руководитель – 100%)	2	3	130	133	Руководитель – 3 дня

На основе таблицы 17 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта и представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Календарный план-график проведения исследований

№	Вид работы	Исполнители	T_{ki} (кал.дн.)	Продолжительность выполнения работ														
				Январь		Февраль			Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	<div></div>														
2	Выбор темы и направления моделирования	Руководитель, инженер	3	<div></div>														
3	Теоретические исследования, проведение обзора литературы	Инженер	21	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>											
4	Составление плана проведения занятий и выбора метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования	Руководитель, инженер	2			<div></div>												
5	Написание программы в среде MatLab	Инженер	15				<div></div>	<div></div>										
6	Проведение исследования	Инженер	15					<div></div>	<div></div>									
7	Обработка результатов	Инженер	12						<div></div>	<div></div>								
8	Обобщение и оценка результатов исследований, написание выводов	Руководитель, инженер	15								<div></div>	<div></div>	<div></div>					
9	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	Инженер	45										<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	
10	Проверка проекта	Руководитель	3														<div></div>	

Обозначения:

■	Руководитель
■	Инженер

Срок выполнения данного проекта составляет 133 дня. Как видно из графика, самый затратный по времени этап научного исследования это оформление работы и составление пояснительной записки, а также теоретические исследования и проведение обзора. Из них научный руководитель работает порядка 10,5 календарных дней (6,5 рабочих дней), инженер – 122,5 календарных дней (71,5 рабочий день). Большая нагрузка в работе приходится на инженера, так как он является основным исполнителем проекта. Работы были начаты заблаговременно, поэтому проект будет выполнен в срок. Составление графика работ является одной из ключевых частей для успешного выполнения проекта.

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета проекта необходимо учесть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье и материалы, покупные материалы, канцелярские принадлежности, картриджи и т.п. Список материальных затрат приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Материальные затраты проекта

Наименование	Единица измерения	Цена за единицу, руб	Затраты на материалы (З _м), руб
Краска для принтера	Шт.	550	550
Электроэнергия	кВт·ч	2,56	201,73
Итого	751,73		

В сумме материальные затраты составили 751,73 рублей. Цены приняты средние по городу Томск.

4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Амортизация – процесс переноса стоимости оборудования на созданную при его участии продукцию и создание источника для простого производства. В качестве специального оборудования, стоимость которого необходимо амортизировать выступает персональный компьютер, цену которого принимаем 60000 рублей, а так же лицензионный продукт «MatLab» – 80000 рублей.

Таблица 20 – Амортизация

Объекты	Норма амортизации	Первич. стоимость	Величина амортизации в год	Кол-во работы в год	Амортизация в час	Кол-во часов работы	$C_{\text{Аморт}}$
Компьютер	40	60000	24000	1979	12,127337	144	1746,34
Лицензионный MatLab	50	80000	40000	10	4000	1	4000
Итого:	5746,34						

4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Расходы по заработной плате определяются по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок. В основную заработную плату вносится премия, которая выплачивается каждый месяц в размере 20 – 30 % от оклада.

Полная заработная плата работника:

$$З_{\text{полн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата работника, руб.; $Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot Z_{\text{осн}}$ – дополнительная заработная плата работников, участвующих в работе над проектом (составляет 10-15% от основной заработной платы).

Основная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата; T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Размер среднедневной заработной платы:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года ($M = 11,2$ для 5-ти дневной рабочей недели; $M = 10,4$ для 6-ти дневной рабочей недели); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей проекта, раб.дн.

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Число дней в году	365	365
Количество нерабочих дней - выходные/праздничные	66	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56	42
Действительный годовой фонд рабочего времени (F_d)	243	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p,$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, принимаем 0,2; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Заработная плата руководителя:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 31000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 60450 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{60450 \cdot 10,4}{365 - 66 - 56} = 2587,2 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 2587,2 \cdot 6,5 = 16816,8 \text{ руб.}$$

Заработная плата инженера:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 22181 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 43252,95 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{43252,95 \cdot 11,2}{365 - 66 - 42} = 1884,9 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 1884,9 \cdot 71,5 = 134770,4 \text{ руб.}$$

Суммарная заработная плата руководителя и инженера:

$$З_{\text{зп}} = 16816,8 + 134770,4 = 151587,2 \text{ руб.}$$

4.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \text{ руб.},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принимаем равным 0,15.

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 16816,8 = 2522,5 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$З_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 134770,4 = 20215,6 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата руководителя и инженера:

$$З_{\text{доп}} = 2522,5 + 20215,6 = 22738,1 \text{ руб.}$$

4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды включают в себя установленные законодательством Российской Федерации нормы органов государственного социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ) и медицинское страхование (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величину отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \text{руб.},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2021 г. в соответствии с Федеральным законом №361 - ФЗ вводятся пониженные тарифы страховых взносов для отдельных категорий плательщиков (для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность) равный 30,2%.

Таким образом, отчисления во внебюджетные фонды для руководителя проекта составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 19339,3 = 5801,79 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера проекта составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 154986 = 46495,8 \text{ руб.}$$

4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов. Накладные расходы находятся по выражению:

$$C_{накл} = (C_{м.з.} + C_A + C_{з.пл.} + C_{с.н.}) \cdot k_{нр};$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы в размере 16%,

$$C_{накл} = (751,73 + 5746,34 + 174325,3 + 52297,6) \cdot 0,16 = 37299,36 \text{ руб.}$$

4.5.7 Формирование затрат на проектирование

Определение бюджета затрат на проект приведено в таблице 22.

Таблица 22 – Бюджет затрат на проект

№	Наименование статьи	Сумма, руб	В % к итогу
1	Материальные затраты проекта	751,73	0,28
2	Затраты на оборудование	5746,34	2,12
3	Затраты по основной заработной плате	151587,2	56,06
4	Затраты по дополнительной заработной плате	22738,1	8,41
5	Отчисления во внебюджетные фонды	52297,6	19,34
6	Накладные расходы	37299,36	13,79
Бюджет затрат на проектирование		270420,33	100

Суммарный бюджет проекта равен 270420,33 рублей, где наибольший процент бюджета составляют затраты на покрытие основное заработной платы исполнителей в размере 151587,2 рублей или 56,06 % к общей сумме бюджета.

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.3.1 Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Оценка ресурсоэффективности проводится для двух различных вариантов выполнения поставленной задачи. Первым вариантом исполнения является вариант с использованием лицензированного продукта «MatLab». Вторым – с использованием «Ansys Fluent».

Отличие максимальной стоимости исполнения от стоимости i -го варианта обусловлено тем, что могут возникнуть дополнительные материальные затраты на приобретение ПО, если площадка, на которой проводится данное исследование, не обладает соответствующей лицензией.

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{270420,33}{400000} = 0,676;$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{400000}{400000} = 1.$$

В ходе оценки проекта с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения определяется его интегральный показатель ресурсоэффективности, позволяющий установить направление его дальнейшего улучшения и осуществления. Для этого были выбраны несколько критериев эффективности:

- 1) Технологичность;
- 2) Надежность;
- 3) Удобство в эксплуатации;
- 4) Экономичность;
- 5) Гибкость;

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности

$$I_{pi} = \sum (a_i \cdot b_i),$$

где a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 23 наглядно показана значимость каждого критерия для данного проекта.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик разрабатываемого проекта

Критерии	Объект исследования		
	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп. 2
Технологичность	0,21	5	5
Надежность	0,12	4	3
Удобство в эксплуатации	0,23	5	4

Продолжение таблицы 23

Экономичность	0,14	4	4
Гибкость	0,30	5	4

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{\text{исп.1}}^p = 5 \cdot 0,21 + 4 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,23 + 4 \cdot 0,14 + 5 \cdot 0,30 = 4,74;$$

$$I_{\text{исп.2}}^p = 5 \cdot 0,21 + 3 \cdot 0,12 + 4 \cdot 0,23 + 4 \cdot 0,14 + 4 \cdot 0,30 = 4,09.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p.i}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}},$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,74}{0,676} = 7,01,$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{4,09}{1} = 4,09,$$

С целью определения наиболее целесообразного варианта из предложенных сравним интегральные показатели эффективности вариантов исполнения разработки и определим сравнительную эффективность проекта ($\Theta_{\text{ср}}$)

$$\Theta_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}},$$

$$\Theta_{\text{ср}} = \frac{7,01}{4,09} = 1,71.$$

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является выполнение работы по первому исполнению.

Выводы по разделу

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Таковыми являются государственные структуры, заведующие лесами, а также МЧС. Можно сделать вывод, что проект является актуальным, т.к. он может помочь в системах прогнозирования лесных пожаров, следовательно, перечисленные структуры заинтересованы в нем.

2. Проведен анализ конкурентных технических решений. Конкурентами являются другие методы, с помощью которых можно получить данные по воспламенению лесного горючего материала (экспериментальные исследования и комбинированный метод). Метод математического моделирования выступает лидером по многим параметрам. Оценочная карта для сравнения конкурентоспособности методов приведена в подразделе 4.1.2

3. При рассмотрении SWOT-анализа основными угрозами выступают: отсутствие спроса на новые природоохранные технологии; введение дополнительных требований к программному обеспечению; удешевление других методов; увеличение стоимости программного обеспечения.

Также, выявлены слабые стороны проекта, такие как отсутствие прототипа научной разработки; риск возникновения погрешности; отсутствие инжиниринговой компании, способной осуществить разработку модели. Возможные пути снижения влияния установленных угроз для проекта представлены в подразделе 4.1.3.

4. Составлена смета затрат на выполнение проекта. Стоит отметить, что основной статьей расходов на разработку проекта является полная заработная плата научно-технических работников и составляет 174325,3рублей. Меньшая доля всех затрат уходит на материальные затраты– 751,73 рублей. Амортизационные расходы составили 5746,34 руб. Общий

бюджет разработки составил 270420,33 рублей. При этом запланированная продолжительность работы составляет 133 календарных дня.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является выполнение работы по первому исполнению. В таблице 20 представлена оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

На основании полученных результатов данного раздела делаем вывод о том, что данный проект является экономически целесообразным и успешным.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Мязина Софья Андреевна

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Математическое моделирование влияния лесного пожара на элементы деревянного строения	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: математическое моделирование влияния лесного пожара на элементы деревянного строения</p> <p>Область применения: прогнозирование лесных пожаров в сельских населённых пунктах.</p> <p>Разработка математического моделирования производится в лабораторной аудитории в учебном заведении.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 24.04.2020) – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. – ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие

	эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Недостаточная освещённость рабочей зоны 2. Отклонение показателей микроклимата 3. Наличие прямой или отраженной блескости 4. Вероятность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц. Гидросфера: потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов. Литосфера: потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта, выбросы токсичных веществ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: – землетрясения; – обрушения здания; – наиболее типичная ЧС – пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Мязина Софья Андреевна		

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

В данном разделе отражены основные проектные решения, снижающие воздействие вредных факторов на окружающую среду и несчастные случаи. Будут рассмотрены социальные, экономические вопросы, а так же вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.

Разработана математическая модель влияния лесного пожара на деревянные строения с использованием конечно-разностного метода в прикладном программном обеспечении языка Delphi.

Область применения – возможность прогнозирования пожаров в сельских населённых пунктах с деревянными строениями, а так же исследование в области лесных пожаров.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

- Согласно ТК РФ, Глава 52.1. Особенности регулирования труда научных работников, руководителей научных организаций, их заместителей:

До заключения трудового договора на перевод и замещение отдельных должностей научных сотрудников на соответствующие должности проводится конкурс на замещение.

Порядок аттестации работников устанавливается федеральным органом исполнительной власти.

Заключение срочных трудовых договоров, сроки действия которых не могут превышать сроки полномочий руководителей указанных организаций, заключаются с заместителями руководителей государственных и муниципальных научных организаций, руководителями их филиалов.

Помимо оснований, предусмотренных настоящим Кодексом и иными федеральными законами, основанием прекращения трудового договора является достижение предельного возраста для замещения соответствующей должности в соответствии со статьей 336.2 настоящего Кодекса.

- Согласно ТК РФ, Глава 44. Особенности регулирования труда лиц, работающих по совместительству:

Совместительство – выполнение работником другой регулярной оплачиваемой работы на условиях трудового договора в свободное от основной работы время.

Продолжительность рабочего времени при работе по совместительству не должна превышать четырех часов в день. В дни, когда по основному месту работы работник свободен от исполнения трудовых обязанностей, он может работать по совместительству полный рабочий день.

Не допускается работа по совместительству лиц в возрасте до восемнадцати лет, на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, если основная работа связана с такими же условиями, а также в других случаях, предусмотренных настоящим Кодексом и иными федеральными законами.

Оплата труда лиц, работающих по совместительству, производится пропорционально отработанному времени, в зависимости от выработки, либо на других условиях, определенных трудовым договором. Лицам, работающим по совместительству в районах, где установлены районные коэффициенты и надбавки к заработной плате, оплата труда производится с учетом этих коэффициентов и надбавок.

- Согласно ТК РФ, Раздел XI. Материальная ответственность сторон трудового договора:

Материальная ответственность стороны трудового договора наступает за ущерб, причиненный ею другой стороне этого договора в результате ее виновного противоправного поведения (действий или бездействия). Работник обязан возместить работодателю причиненный ему прямой ущерб, если другая сторона докажет размер причиненного ущерба. Неполученные доходы (упущенная выгода) взысканию с работника не подлежат [72].

За причиненный ущерб работник несет материальную ответственность в пределах своего среднего месячного заработка, если иное не предусмотрено настоящим Кодексом или иными федеральными законами.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно [73] должна соблюдаться зона досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскости. Высота рабочего сиденья зависит от роста человека. Пространство для ног не менее 500х600 мм.

Органы управления располагают так, чтобы не было перекрещивания рук. Аварийные органы управления следует располагать в зоне досягаемости моторного поля.

В соответствии с [74] кресло научного работника должно обеспечивать: рациональную рабочую позу, длительное поддержание основной рабочей позы. Конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений.

При отсутствии возможности покидания рабочего места длительный промежуток времени, конструкция кресла должна обеспечивать условия для отдыха научного работника в кресле.

Согласно [75] при взаимном расположении элементов рабочего места необходимо учитывать: рабочую позу научного работника; возможность обзора элементов рабочего места; пространство для размещения научного работника, а так же возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых научным работником.

Согласно [76] конструкция рабочего стола должна обеспечивать возможность размещения необходимого оборудования и документов. Не должно создаваться перегрузки костно-мышечной системы. Высота рабочей поверхности стола должно составлять 725 мм.

Дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора, но не более 60° от горизонтальной линии взгляда оператора.

5.2 Производственная безопасность

В предложенном пункте будут проведены анализы вредных и опасных факторов, которые могут возникать при написании математического моделирования в лабораторной аудитории учебного заведения. В таблице 24 представлен перечень возможных вредных и опасных факторов.

Таблица 24 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) [55]	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Подготовка к	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [78] 2. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. [77]
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	1. СанПиН 1.2.3685-21. "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". [79] 2. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. [77]
3. Опасность поражения электрическим током	+		+	1. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [80] 2. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [81]
4. Наличие прямой или отраженной блескости	+		+	1. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. [77]

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [79].

Недостаточная освещенность может стать причиной напряжения органов зрения, что вызывает быструю усталость человека, и вероятность ошибочных действий, также приводит к близорукости.

Основные требования к рабочему освещению:

- 1) Создание достаточной освещённости на рабочих местах согласно нормам;
- 2) Бесперебойность и длительность работы установки в данных условиях среды;
- 3) Высокое качество освещения – спектральный состав, близкий к естественному, ограничение прямой и отражённой блёскости, рациональное направление света, постоянство освещённости во времени;
- 4) Экономичность осветительной установки;
- 5) Пожарная и электрическая безопасность осветительных устройств.

По СП 52.13330.2016 [80] для компьютерных классов научно исследовательских учреждений норма освещенности составляет 400 лк.

Отклонение показателей микроклимата:

Компьютерный класс № 41 4 корпуса НИТПУ можно отнести к помещениям первого класса (помещения с незначительными избытками явного тепла (до 23 Дж/м³·с и менее)) исходя из производственных условий [81].

При отклонении показателей микроклимата от нормативных происходит нарушение многих функций организма, что приводит к возникновению ряда заболеваний.

Допустимые микроклиматические условия рабочей зоны с учетом избытков тепла, времени года (табл. 2.3) и тяжести выполняемой работы (Iб категория) указаны в СанПиН 2.2.4.548–96 [78].

На рабочем месте научного работника должны обеспечиваться оптимальные микроклиматические условия в тёплый и холодные периоды года, для поддержания которых необходимо использовать системы вентиляции и отопления, а так же регулярное проветривание кабинета.

Выбрана категория работ по уровню энергозатрат Іб, так как большинство работ производится сидя и с кратковременной ходьбой сопровождающейся незначительной физической нагрузкой.

Таблица 25 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, СанПиН 2.2.4.548-96 [78]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Тёплый		22-24	21-25		

Таблица 26 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Ниже оптимальных величин, не более	Выше оптимальных величин, не более
Холодный	Іб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Тёплый		20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0			0,3

Опасность поражения электрическим током:

Причины поражения электрическим током:

- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение правил технической эксплуатации;
- Прикосновение к токоведущим частям;
- Прикосновение к нетокведущим частям, оказавшимися под напряжением.

Поражение электрическим током – наиболее опасный из перечисленных факторов. Воздействие электрического тока может привести

к появлению электрических ожогов, остановке сердца или дыхания, судорог и даже смерть.

Сила поражения зависит от времени воздействия, места соприкосновения тела, характера тока, готовности человека к поражению электрическим током и др. [82]

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в таблице 27. [83]

Таблица 27 – Предельно допустимые значения напряжений и токов в аварийном режиме

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t , с			
		0,1	0,5	1	Свыше 1
Переменный, 50 Гц	U, В	340	105	60	20
	I, мА	400	125	50	6
Постоянный	U, В	500	250	200	40
	I, мА				15

Наличие прямой или отраженной блескости:

Источником возникновения является любая отражающая поверхность (дисплей ноутбука, зеркало и т.д.). Наличие блескости снижает концентрацию внимания работника.

Согласно [77] в поле зрения оператора должны отсутствовать прямая и отраженная блескость. Для её снижения необходимо: оборудовать светопроемы шторами, использовать светильники с непросвечивающим отражателем, наносить антибликовое покрытие на дисплей ноутбука и правильно размещать рабочий стол относительно световых проёмов.

5.3 Экологическая безопасность

В данном разделе будет рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. В работе не используются лабораторные стенды, однако существуют косвенные моменты.

Снабжение электроэнергией для питания рабочего ПК или ноутбука, а так же поддержание температурных норм – использование тепловой и электрической энергии. Производство энергии сопровождается выбросами вредных веществ в атмосферу и водоёмы.

При сжигании топлива на тепло- и электростанциях атмосфера загрязняется вредными соединениями углерода, ванадия, азота, серы и др. Станции сбрасывают отработанную тёплую воду, что свидетельствует нарушению кислородного баланса и угрозе обитателей водоёмов. [84]

Использование бумаги для печати методических рекомендаций. Производство бумаги сопровождается использованием древечных ресурсов, а так же выбросом веществ в атмосферу и водоёмы.

Производство бумаги приводит к исчезновению лесов, что означает увеличение углекислого газа и уменьшение кислорода в атмосфере. Так же не исключено оставление примеси органических соединений, отеливателя и щелоки в водоёмах, что опасно для обитателей природы.

Существует ряд рациональных мер, который поможет снизить негативные последствия:

- Переработка макулатуры;
- Сокращение использования бумажной печати (двусторонняя печать);
- Замена токсичных отходов на более экологичные;
- Применение и повышение качества очистных технологий на тепло- и электростанциях;
- Организация контроля за качеством окружающей среды. [85]

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможны следующие чрезвычайные ситуации:

- Пожар;
- Землетрясения;
- Эпидемии;
- Обрушение здания.

При разработке математической модели наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является пожар, так как вся работа основана на использовании компьютерных технологий.

Пожары, связанные с электричеством, одни из наиболее распространённых причин пожаров. Причинами может является перегрузка цепи, перегрев оборудования, искрение, короткое замыкание и т.п.

Для обеспечения пожаробезопасности следует применять ряд мер:

- использование негорючих материалов;
- правильный подбор автоматических выключателей;
- проверка соблюдения пожарной безопасности;
- правильный выбор сечение проводов.

Помещение должно быть оборудовано системой автоматической сигнализации, огнетушителя, планом эвакуации и другими обязательными средствами.

Порядок действий при пожаре:

- Немедленно сообщить в пожарную охрану;
- Принять меры по эвакуации учащихся и сотрудников;
- По возможности принять меры к тушению пожара.

Выводы по разделу

По мере увеличения объемов любого производства увеличивается влияние на экологию и на людей. Для комфортного существования человечества должны применяться ряд ограничивающих мер, что позволяет минимизировать количество заболеваний и несчастных случаев, а также поддержать трудоспособность населения.

Необходимо регулярно проветривать помещение, организовать сбор макулатуры, проинформировать сотрудников и обучающихся о технике пожарной безопасности, проинструктировать о работе с компьютером.

Часть рассмотренных способов предотвращения неблагоприятных факторов регламентированы нормативными документами, поэтому являются обязательными для исполнения.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы проведен обзор литературы по тематике математического моделирования и лесных пожаров в этой области исследования. На основе изученного материала было проведено исследование распределения температуры в деревянном строении сельской местности при воздействии конвекции от фронта различных пожаров, а так же в различные сезоны года на основе математического моделирования.

В рамках теоретического исследования были сформулированы математические модели тепломассопереноса в деревянном строении сельской местности в одномерной и двумерной постановках с учетом характерных неоднородностей и его состава. Рассмотрен физический механизм воздействия высокотемпературной среды на лесной горючий материал, разработана система допущений для математических моделей.

Полученные результаты будут иметь значение для практики, поскольку позволят лучше понять процесс распределения температуры по деревянному строению в сельской местности во время лесного пожара. Программные реализации таких математических моделей могут быть использованы в системах прогнозирования лесной пожарной опасности, для разработки схем тушения лесных пожаров и экологических последствий лесных пожаров.

Выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Список использованных источников

1. Портал о лесозаготовке и деревообработке [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://forestcomplex.ru/rf-protection/lesnye-pozhary-2020-v-rossii-i-mire/> (дата обращения 12.05.2021).
2. Кузнецов В. И., Козлов Н. И., Хомяков П. М. Математическое моделирование эволюции леса для целей управления лесным хозяйством. М.: ЛЕНАНД, 2005. 232 с.
3. Scott, J. H., and Reinhardt, E. D., Assessing Crown Fire Potential by Linking Models of Surface and Crown Fire Behavior (Research Paper RMRS-RP-29), Rocky Mountain Research Station, US Forest Service, Fort Collins CO (2001).
4. Черных В. Л., Сысуев В. В. Информационные технологии в лесном хозяйстве: учебное пособие / Мин. образования РФ; Марийский гос. тех. университет. Йошкар-Ола, 2000. 377 с.
5. Аварийная спасательная служба №1 в Москве и Московской области. URL: [Электронный ресурс] <https://xrl.ru/> (дата обращения 18.05.2021).
6. Шешуков М.А. Пирогенез – важнейший фактор формирования лесов // Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1984. 99–100 с.
7. Софронов М.А. Лесные пожары в горах южной Сибири. М.: Наука, 1967. 148 с.
8. Morandini F., Santoni P.A., Balbi J.H. The contribution of radiant heat transfer to laboratory-scale fire spread under the influences of wind and slope // Fire Safety Journal. 2001. Vol. 36. P. 519-543.
9. Scott S., Chris Lautenberger C., Fernandez-Pello C. Ignition of Combustible Fuel Beds by Hot Particles: An Experimental and Theoretical Study // Fire Technology. 2010. Vol. 47. P. 341-355.
10. Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск, 1947. 60с.

11. Государственная противопожарная служба республики Марий Эл.
URL: [Электронный ресурс] <http://ugps12.ru/?p=5364> (дата обращения 18.05.2021).
12. Арманд Д.Л. Наука о ландшафтах. М: Мысль, 1975. 141 с.
134. Ю.А. Андреев, А.Ю. Андреев, П.В. Михайлов, В.Г. Паутяк, В.С. Коморовский. Оценка запаса лесных горючих материалов при государственной инвентаризации леса // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2015. 39-46 с.
14. Огненный смерч. URL: [Электронный ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Огненный_смерч (дата обращения 18.05.2021).
15. Авдеева А.А. Великий Московский пожар 1812 г. – Исторический пример огненного шторма // Успехи современной науки и образования. 2017. С. 52-56.
16. 2003 Canberra bushfires URL: [Электронный ресурс] https://en.wikipedia.org/wiki/2003_Canberra_bushfires (дата обращения 18.05.2021).
17. Гришин А.М., Рейно В.В. Экспериментальные исследования огненных смерчей // Оптика атмосферы и океана. Томск.2007. С. 158-163.
18. Тушение лесных пожаров: учебно-методическое пособие. ГБУ Архангельской области «Служба спасения». 2013. 106 с.
19. Курбатский Н. П., Костырина Т. В. Национальная система расчета пожарной опасности США // Обнаружение и анализ лесных пожаров / ИЛид СО АН СССР. Красноярск, 1977. С. 38—90.
20. Курбатский Н. П. Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии / ИЛид СО АН СССР. Красноярск, 1972. С. 171—231.
21. Валендик Э.Н., Кисилыхов Е.К., Верховец С.В. Пожарная опасность на вырубках в темнохвойных лесах Красноярского края // Лесное хозяйство. 2003. № 3. С. 36—38.

22. Шешуков М.А., Нешатаев В. В., Найкруг И. Б. Некоторые принципы составления планов противопожарного устройства // Лесное хозяйство. 1973. № 6. С. 48—53.

23. Волокитина А.В., Ноженкова Л.Ф., Софронов М.А., Назимова Д.И. Прогноз чрезвычайных ситуаций при пожарах растительности вблизи населенных пунктов // Сопряженные задачи механики и экологии: Мат-лы международной конференции. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 39—48.

24. Курбатский Н.П. Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии / ИЛД СО АН СССР. Красноярск, 1972. С. 171—231.

25. Mak J., Landry H., Grieger L., Agnew J., Krigstin S. An Assessment of Ambient and Heated Forced Air Drying Pre-treatments for Enhancing the Quality of Various Forest Biomass Feedstocks // Frontiers in Energy Research. 2020. Vol. 8. P. 1-11.

26. А.М. Гришин, А.Н. Голованов, Л.Ю. Катаева Е.Л.Л. Постановка и решение задачи о сушке слоя лесных горючих материалов // Физика горения и взрыва. 2001. т. 37 65—76 с.

27. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Курбатский Н.П. –Красноярск, 1970; Физические основы горения растительных материалов. Конев Э.В. – Новосибирск, 1977.

28. Кречетов В.И. Сушка древесины. М.: Лесная промышленность 3-е изд., перераб. 1980. 432 с.

29. А. М. Гришин [и др.]. Экспериментальное и теоретическое исследование сушки лесных горючих материалов // Известия Томского политехнического университета. 2002. Т. 305, вып. 2 : труды II-го семинара вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике, Томск, 24-25 октября 2001. С. 31-43.

30. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 205 с.

31. McAllister S, Grenfell I, Hadlow A, Jolly WM, Finney M, Cohen J. Piloted ignition of live forest fuels. *Fire Safety J*. 2012. Vol.56. P. 33–42.
32. Biagini E, Tognotti L. A generalized procedure for the devolatilization of biomass fuels based on the chemical components. *Energy Fuel* 2014. Vol. 28. P. 14–23.
33. Amini E, Safdari MS, DeYoung JT, Weise DT, Fletcher TH. Characterization of pyrolysis products from slow pyrolysis of live and dead vegetation native to the southern United States. *Fuel* 2019. Vol. 14. P.75– 91.
34. Safdari MS. Characterization of pyrolysis products from fast pyrolysis of live and dead vegetation. Dissertation, Chemical Engineering Department. Brigham Young University; 2018. P. 176.
35. Safdari MS, Dietenberger M, Weise DR, Fletcher TH. Characterization of pyrolysis products from fast pyrolysis of live and dead vegetation native to the southern United States. *Fuel* 2018. Vol. 29. P. 51–66.
36. McAllister S, Finney M. Autoignition of wood under combined convective and radiative heating. *P Combust Inst* 2017. Vol. 36. P. 73–80.
37. Albin FA. A model for fire spread in wildland fuels by radiation. *Combust SciTechnol* 1985. Vol. 42. P. 29–58.
38. Ni M, Leung DY, Leung MKH, Sumathy K. An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Process Technol* 2006. Vol. 30. P. 61–72.
39. Коробейничев О.П., Палецкий А.А., Гончикжапов М.Б., Шундрин И.К., Chen H., Liu N. Пиролиз и горение лесных горючих материалов: Материалы международной конференции. 2012. 50.1-50.8 с.
40. Farag S, Fu DB, Jessop PG, Chaouki J. Detailed compositional analysis and structural investigation of a bio-oil from microwave pyrolysis of Kraft lignin // *J Anal ApplPyrol* 2014. Vol.109. P. 49–57.
41. Shen YF, Wang JF, Ge XL, Chen MD. By-products recycling for syngas cleanup in biomass pyrolysis - an overview. *Renew Sust Energ Rev* 2016. Vol.59. P. 46–68.

42. Р.Ш. Еналеев, Э.Ш. Теляков, Ю. С. Чистов, В.С. Гасилов. Критерий зажигания твердых топлив // Вестник Казанского технологического университета. 2014. 116-119 с.
43. Plummer F. G. Lightning in relation to forest fires // Bulletin 111. USDA Forest Service. Washington, DC: Government Printing Office, 1912. 39 p.
44. Kotoyori, T., Critical Ignition Temperatures of Wood Sawdusts, pp. 463-471 in Fire Safety Science — Proc.1st Intl. Symp., Hemisphere, Washington (1986).
45. Вилунов В. Н. Теория зажигания конденсированных веществ. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1984. 187 с.
46. Bowes, P. C., Spontaneous Heating and Ignition in Heaps of Sawdust (FR Note 187), Fire Research Station, Borehamwood (1955).
47. Cunningham, M. B., Self Heating of Paper, TAPPI 44, 194A-197A (1961).
48. Van Wingerden, K., and Alfert, F., Detection and Suppression of Smouldering Fires in Industrial Plants (Report CMR94-F25068). Christian Michelsen Research AS, Bergen, Norway (1994).
49. Bergström, H., The Spontaneous Ignition of Wood and the Origin of Fusain, pp. 787-796 in Proc. 3rd Intl. Conf. on Bituminous Coal, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh (1932).
50. Bergman, Ö., Thermal Degradation and Spontaneous Ignition in Outdoor Chip Storage, Svensk Papperstidning 77:18, 681-684 (1974).
51. Walker, I. K., and Harrison, W. J., Self-heating of Wet Wood. 1. Exothermic Oxidation of Wet Sawdust, New Zealand J. Science 20, 191-200 (1977).
52. Haldane, J. S., and Makgill, R. H., The Spontaneous Oxidation of Coal and Other Organic Substances, J. Soc. Chem. Industry 53, 359T-367T (1934).
53. Keisuke Himotoa, Masahiko Shinoharab, Ai Sekizawac, Ken-ichi Takanashib, Hitomu Saikib, A field experiment on fire spread within a group of model houses // Fire Safety Journal – 2018 – Science 96 – 105-114.

54. Vladimir Agranat , Valeriy Perminov, Mathematical modeling of wildland fire initiation and spread Environmental // Modelling and Software. Vol. 70. 2020. P. 1747-1752.
55. Федеральный закон Российской Федерации от 06.05.2011 г. № 100 «О добровольной пожарной охране».
56. Sayaka Suzukia, Samuel L. Manzellob, Initial study on thatched roofing assembly ignition vulnerabilities to firebrand showers // Fire Safety Journal – 2019 – Science 103 – 34-37.
57. Chris Lautenberger, Carlos Fernandez-Pello Generalized pyrolysis model for combustible solids // Fire Safety Journal. 2007. Vol. 10. P. 352.
58. Chen Q. Study On Forest Fire Spreading Model Based On Remote Sensing And GIS // 1st International Conference on Environment Prevention and Pollution Control Technology (EPPCT). 2018. P. 1-8.
59. Глаголев В.А., Баженов Р.И. Пространственный прогноз пожарной опасности растительности по метеорологическим условиям // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. 1-9 с.
60. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов / Рослесхоз.– М.: Рослесхоз, 2011 – 131 с.
61. Фото.сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://photosight.ru/photos/6603639/> (дата обращения 12.05.2021).
62. Radeloff, V.C.; Hammer, R.B.; Stewart, S.I.; Fried, J.S.; Holcomb, S.S.; McKeefry, A.J. The wildland-urban interface in the United States. Ecol. Appl. 2005, 15, 799–805.
63. Sturtevant, B.R.; Cleland, D.T. Human and biophysical factors influencing modern fire disturbance in northern Wisconsin. Int. J. Wildland Fire 2007, 16, 398–413.
64. Syphard, A.D.; Radeloff, V.C.; Keely, J.E.; Hawbaker, T.J.; Clayton, M.K.; Stewart, S.I.; Hammer, R.B. Human influence on California fire regimes. Ecol. Appl. 2007, 17, 1388–1402.

65. Arno, S.F.; Brown, J.K. Managing fire in our forests—Time for a new alternative. *J. For.* 1989, 87, 44–46.

66. Bevers, M.; Omi, P.N.; Hof, J. Random location of fuel treatments in wildland community interfaces: A percolation approach. *Can. J. For. Res.* 2004, 34, 164–173.

67. Кузнецов Г.В., Шерemet М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. С. 8-73.

68. Baranovskiy N., Malinin A., Mathematical Simulation of Forest Fire Impact on Industrial Facilities and Wood-Based Buildings – Tomsk. 2020.

69. Термоизол.com [Электронный ресурс]. URL: <https://termoizol.com/polnaya-tablitsa-teploprovodnosti-razlitchnh-stroitelynh-materialov.html> (дата обращения 12.05.2021).

70. Леруа Мерлен в Новосибирске [Электронный ресурс]. <https://novosibirsk.leroymerlin.ru/product/blok-haus-hvoya-28h146h3000-mm-sort-optima-3-sht-1-31-m-81947969/#nav-characteristics> URL: (дата обращения 12.05.2021).

71. Утепли ВСЕ [Электронный ресурс]. URL: [https://утепливсе.рф/stat/1428075110.html#:~:text=Характеристика%20ПТЭ-100%3A%20Плотность%3A%2084%20,-120%20до%20%2B700°C.%20Упаковка%20ПТЭ-100%3A](https://утепливсе.рф/stat/1428075110.html#:~:text=Характеристика%20ПТЭ-100%3A%20Плотность%3A%2084%20,-120%20до%20%2B700%C.%20Упаковка%20ПТЭ-100%3A) (дата обращения 12.05.2021).

72. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020).

73. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

74. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.

75. ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

76. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

77. ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

78. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

79. СанПиН 1.2.3685-21. "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".

80. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*

81. ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

82. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

83. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

84. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

85. ГОСТ Р ИСО 1410-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного Цикла. Принципы и структура.

86. ГОСТ 22.0.05-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.